



## **Manufaktur Heater Menggunakan Bahan Pipa Steam untuk Mesin Stirling Tipe Gamma Skala Kecil**

### **Heater Manufacturing Using Steam Pipe Material for Small Scale Gamma Type Stirling Engine**

Eprian Kurniawan<sup>1</sup>, Jufrizal<sup>1\*</sup>, Nurdiana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Medan, Sumatera Utara, 20223, Indonesia

<sup>2</sup>Prodi Teknik Mesin, Universitas Al-Azhar Medan, Medan, Sumatera Uara, 20143, Indonesia

\*Corresponding author: [jufrizal@staff.uma.ac.id](mailto:jufrizal@staff.uma.ac.id)

Diterima: 12-11-2024

Disetujui: 11-12-2024

Dipublikasikan: 30-12-2024

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



#### **Abstrak**

Perancangan dan pembuatan *heater* untuk mesin Stirling tipe Gamma skala kecil memerlukan pertimbangan faktor-faktor penting untuk memastikan efisiensi termal dan kinerja optimal mesin. Dalam penelitian ini, aplikasi CAD digunakan untuk merancang desain *heater* secara presisi sesuai kebutuhan operasional. *Heater* berperan sebagai komponen utama yang mentransfer panas dari sumber ke fluida kerja, dengan posisinya berada pada bagian depan mesin Stirling. Proses manufaktur dilakukan menggunakan bahan baja karbon, yang dipilih karena kemampuannya menahan suhu tinggi dan memastikan distribusi panas yang merata. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *heater* yang diproduksi mampu mencapai suhu rata-rata sebesar 484,50°C, yang mencerminkan stabilitas suhu dan distribusi panas yang optimal selama pengoperasian. Stabilitas ini menjadi indikator penting dalam mendukung efisiensi termal dan keandalan mesin Stirling. Penelitian ini membuktikan bahwa proses desain, pemilihan material, dan teknik manufaktur yang diterapkan berhasil menghasilkan *heater* yang sesuai dengan spesifikasi desain. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi *heater* untuk aplikasi mesin Stirling skala kecil.

**Kata Kunci:** *Heater* Mesin Stirling, Manufaktur *Heater*, Pipa Steam, Efisiensi Termal, Baja Karbon.

#### **Abstract**

The design and manufacturing of a heater for a Gamma-type Stirling engine on a small scale require careful consideration of key factors to ensure thermal efficiency and optimal performance. This study utilized AutoCAD software to design the heater precisely according to operational requirements. The heater functions as a critical component that transfers heat from the source to the working fluid positioned at the front of the Stirling engine. The manufacturing process employed carbon steel, chosen for its ability to withstand high temperatures and ensure even heat distribution. Test results demonstrated that the manufactured heater could achieve an average temperature of 484.50 °C, reflecting its stability and optimal heat distribution during operation. This stability is a crucial indicator of the heater's thermal efficiency and reliability in supporting the Stirling engine's performance. The study confirms that the applied design process, material selection, and manufacturing techniques successfully produced a heater that meets the design specifications. Thus, this research significantly contributes to developing heater technology for small-scale Stirling engine applications.

**Keywords:** Stirling Engine Heater, Heater Manufacturing, Steam Pipe, Thermal Efficiency, Carbon Steel.

## 1. Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Fenomena ini membawa berbagai dampak terhadap aspek kehidupan manusia, salah satunya adalah meningkatnya kebutuhan energi untuk menunjang berbagai aktivitas, termasuk sektor industri, transportasi, dan rumah tangga. Peningkatan konsumsi energi ini menuntut adanya solusi yang efisien dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut (BPS, 2023).

Dalam konteks sistem energi, heat exchanger memainkan peran penting dalam transfer panas antara dua medium. Pada mesin Stirling, heat exchanger digunakan untuk mempertahankan suhu tinggi di ruang panas (hot space) dan suhu rendah di ruang dingin (cold space). Panas dari sumber panas ditransfer ke silinder melalui *heater*, sedangkan panas dari silinder diteruskan ke ujung dingin melalui cooler. Mesin Stirling dengan pendingin udara biasanya menggunakan penukar panas sederhana, sementara mesin Stirling dengan pendingin air memanfaatkan heat exchanger yang lebih kompleks (Nazila, 2016).

*Heater* merupakan salah satu komponen utama dalam mesin Stirling yang berfungsi sebagai penukar panas dari sumber panas ke fluida kerja. Peran *heater* sangat penting untuk menjaga efisiensi termal mesin dan memastikan siklus termodinamika berlangsung dengan optimal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa efisiensi *heater* dipengaruhi oleh jenis material, desain, dan variasi temperatur sumber panas. Mawardi (2022) menyatakan bahwa variasi temperatur sumber panas memiliki pengaruh signifikan terhadap performa *heater* dalam mesin Stirling tipe Gamma skala kecil.

Selain itu, menurut beberapa penelitian, penggunaan material pipa steam pada *heater* dapat meningkatkan efisiensi termal dengan mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan daya tahan komponen dalam kondisi operasi yang keras. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Kagawa et al. (2019), yang menyebutkan bahwa material berbasis logam dengan konduktivitas termal tinggi, seperti baja tahan panas, dapat meningkatkan efisiensi transfer panas pada sistem mesin Stirling.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi temperatur sumber panas terhadap temperatur udara di dalam *heater* mesin Stirling tipe Gamma skala kecil. Selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi material terbaik untuk manufaktur *heater* berbasis pipa steam. Material tersebut harus mampu menahan suhu tinggi, mengurangi kehilangan panas, serta meningkatkan durabilitas komponen. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

## 2. Metode

Metode penelitian untuk pembuatan *heater* mesin Stirling tipe Gamma skala kecil berbasis pipa steam dapat diuraikan dalam beberapa tahapan utama sesuai dengan gambar yang ditunjukkan. Setiap tahap dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

### 1. Desain *heater*

Tahap awal adalah pembuatan desain *heater* menggunakan perangkat lunak CAD (Computer-Aided Design). Tahap ini untuk menghasilkan desain *heater* yang sesuai dengan spesifikasi mesin Stirling tipe Gamma, termasuk dimensi, bentuk, dan konfigurasi pipa steam.

Langkah-langkah:

1. Menentukan parameter desain berdasarkan kebutuhan mesin Stirling, seperti efisiensi termal, ketahanan suhu tinggi, dan kapasitas fluida kerja.
2. Membuat gambar teknik yang mencakup detail dimensi, toleransi, dan material yang akan digunakan.
3. Melakukan simulasi termal untuk memastikan performa *heater* optimal dalam kondisi operasi.

## 2. Cutting plat penutup *heater*

Proses ini melibatkan pemotongan pelat logam untuk membuat penutup *heater*. Tahap ini membuat pelat dengan dimensi dan bentuk yang sesuai untuk menutup bagian atas dan bawah *heater*.

Langkah-langkah:

1. Menggunakan alat pemotong seperti plasma cutter atau gergaji logam untuk memotong pelat sesuai desain.
2. Memastikan ketepatan ukuran dan kebersihan hasil potongan untuk memudahkan proses penyambungan berikutnya.

## 3. Pemilihan dan persiapan bahan pipa steam

Tahap ini mencakup pemilihan material pipa steam dan persiapannya untuk proses manufaktur. Tahap ini memastikan material pipa steam yang digunakan memiliki sifat mekanis dan termal yang sesuai.

Langkah-langkah:

1. Memilih pipa steam berbahan baja tahan panas (misalnya stainless steel atau baja karbon).
2. Membersihkan permukaan pipa dari kotoran atau minyak yang dapat mengganggu proses manufaktur.
3. Memotong pipa sesuai panjang yang ditentukan dalam desain.

## 4. Pembubutan

Proses pembubutan dilakukan untuk memastikan dimensi pipa dan pelat sesuai spesifikasi desain. Tahap ini membentuk pipa steam agar sesuai dengan toleransi dimensi yang ditentukan.

Langkah-langkah:

1. Menggunakan mesin bubut untuk meratakan ujung pipa dan membuat alur atau ulir jika diperlukan.
2. Memastikan kehalusan permukaan hasil bubutan untuk mempermudah proses penyambungan.

## 5. Pengelasan

Tahap ini melibatkan pengelasan komponen-komponen *heater*, termasuk pipa steam dan pelat penutup. Tahap ini menggabungkan semua komponen *heater* menjadi satu kesatuan yang kokoh dan tahan terhadap tekanan serta suhu tinggi.

Langkah-langkah:

1. Menggunakan teknik pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) atau MIG (Metal Inert Gas) untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama.

2. Memastikan bahwa proses pengelasan dilakukan dengan presisi tinggi untuk mencegah kebocoran panas.
3. Melakukan inspeksi visual dan uji kekuatan sambungan untuk memastikan kualitas pengelasan.

#### 6. Hasil proses manufaktur

Tahap akhir adalah pemeriksaan hasil manufaktur *heater*. Tahap ini memastikan bahwa *heater* yang diproduksi memenuhi spesifikasi desain dan siap digunakan pada mesin Stirling.

Langkah-langkah:

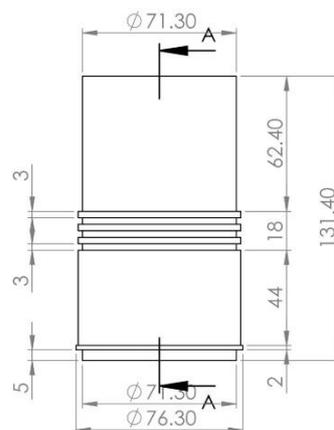
1. Melakukan uji fungsional untuk memverifikasi performa *heater*, seperti uji tahan panas dan uji kebocoran.
2. Membersihkan *heater* dari sisa proses manufaktur, seperti serpihan logam atau residu pengelasan.
3. Dokumentasi hasil manufaktur, termasuk pencatatan dimensi akhir dan hasil pengujian.

#### 7. Pengujian prototipe

Setelah *heater* selesai dibuat, prototipe dipasang pada mesin Stirling tipe Gamma untuk dilakukan pengujian. Variasi temperatur sumber panas digunakan untuk mengukur efisiensi termal dan kestabilan suhu. Data yang dikumpulkan meliputi temperatur fluida kerja, laju transfer panas, dan efisiensi sistem. Data dianalisis untuk mengevaluasi kinerja *heater* dan memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi desain. Metode ini memastikan bahwa *heater* yang dihasilkan memiliki kualitas dan performa yang sesuai untuk mendukung operasi mesin Stirling tipe Gamma skala kecil. Jika diperlukan, modifikasi desain dapat dilakukan berdasarkan hasil pengujian untuk meningkatkan efisiensi atau daya tahan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini mencakup beberapa aspek penting, dimulai dari pembuatan desain *heater* (Gambar 1) yang dirancang untuk mendukung kinerja mesin Stirling tipe Gamma skala kecil. Selanjutnya, bahan utama yang dipilih untuk pembuatan *heater* adalah pipa steam, yang dipilih karena memiliki sifat termal dan mekanis yang sesuai untuk mendukung efisiensi dan daya tahan *heater*. Perhitungan ukuran *heater* dilakukan secara cermat untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi desain, dengan hasil yang dirangkum dalam Tabel 1. Selain itu, tahapan proses manufaktur *heater*, mulai dari persiapan bahan hingga hasil akhir, dijelaskan secara rinci dan divisualisasikan pada Gambar 2. Penelitian ini tidak hanya memberikan panduan teknis, tetapi juga menawarkan wawasan tentang proses produksi *heater* yang efisien dan berkualitas tinggi.

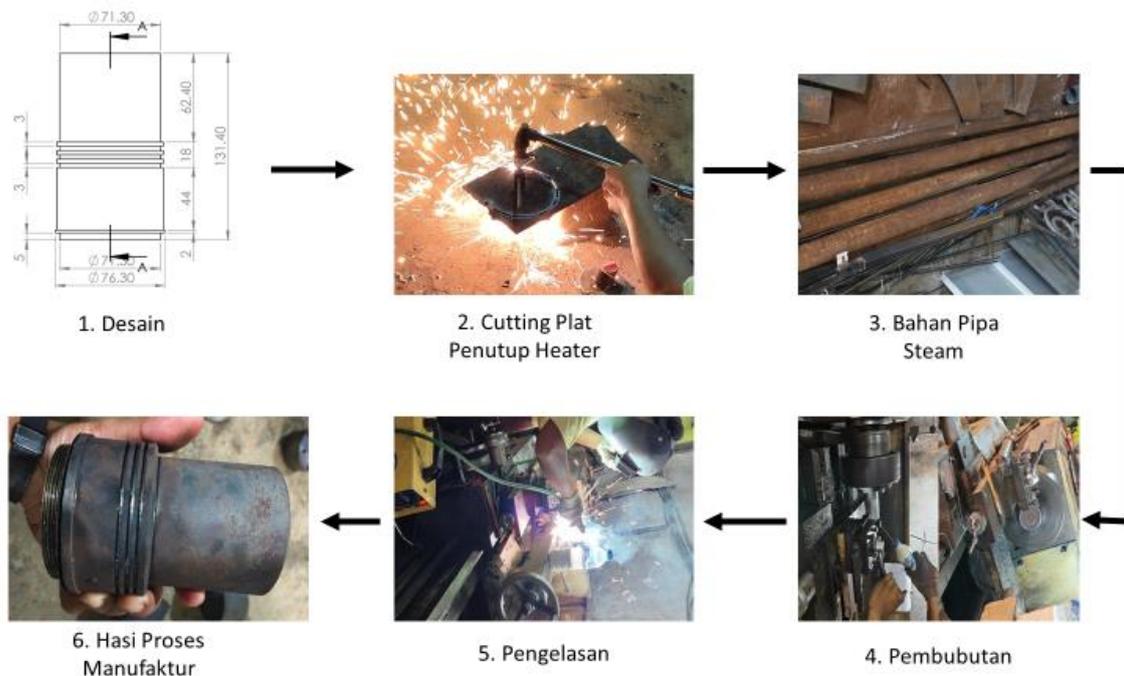


**Gambar 1.** Ukuran *heater* mesin Stirling tipe gamma skala kecil

**Tabel 1.** Dimensi dan spesifikasi *heater*

Parameter	Dimensi
Bahan	Pipa <i>Steam</i>
Diameter ketebalan pipa	5,99 mm
Diameter luar <i>heater</i>	76,30 mm
Diameter dalam <i>heater</i>	70,31 mm
Tinggi <i>heater</i>	131,40 mm
Diameter Tebal Sirip	3 mm
Tebal dinding bagian atas	1,61 mm

Proses dimulai dengan pembuatan desain *heater* (Gambar 2.1) menggunakan perangkat lunak CAD (Computer-Aided Design). Gambar teknik yang dihasilkan mencakup dimensi detail, seperti diameter luar dan dalam pipa, panjang, serta posisi sambungan. Desain ini menjadi pedoman utama dalam seluruh proses manufaktur untuk memastikan *heater* yang dihasilkan memiliki ukuran dan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan mesin Stirling tipe Gamma. *Heater* harus mampu menahan tekanan tinggi dan temperatur ekstrem yang terjadi selama operasi. Desain ini juga mencakup analisis material dan struktur untuk memastikan keamanan dan efisiensi.



**Gambar 2.** Tahapan proses manufaktur *heater*

Pada tahap Cutting Plat Penutup *Heater* (Gambar 2.2), plat logam dipotong menggunakan alat pemotong plasma atau gas untuk membentuk bagian penutup *heater*. Proses cutting ini menghasilkan percikan api yang terlihat pada gambar, menunjukkan penggunaan alat berenergi tinggi. Membuat potongan logam sesuai dengan dimensi yang telah dirancang di tahap desain. Presisi dalam pemotongan sangat penting untuk memastikan kesesuaian saat perakitan. Operator memastikan bahwa ketebalan dan bentuk potongan sesuai dengan toleransi desain. Pemotongan dilakukan pada material yang tahan panas, seperti baja karbon atau baja tahan karat, agar *heater* dapat bekerja dengan baik dalam kondisi ekstrem.

Bahan utama yang digunakan untuk *heater* adalah pipa steam. Gambar 2.3 menunjukkan stok pipa dengan berbagai ukuran yang tersedia untuk dipilih. Pipa dipilih berdasarkan spesifikasi seperti diameter, ketebalan dinding, dan jenis material. Memastikan bahan pipa memiliki kualitas

yang sesuai untuk digunakan dalam mesin Stirling. Pipa harus mampu menahan tekanan tinggi dan konduksi panas yang efisien. Material pipa biasanya berbasis logam dengan sifat termal yang baik, seperti baja tahan karat atau paduan logam lainnya. Pemilihan bahan juga mempertimbangkan ketahanan terhadap korosi akibat suhu tinggi dan lingkungan operasi.

Proses pembubutan (Gambar 2.4) dilakukan untuk membentuk pipa steam dan komponen lainnya agar sesuai dengan dimensi desain. Mesin bubut digunakan untuk memperhalus permukaan, membuat ulir, atau menyesuaikan diameter. Memberikan hasil yang presisi sehingga setiap bagian dapat dirakit dengan sempurna. Pembubutan juga meningkatkan kehalusan permukaan, yang penting untuk mencegah kebocoran dan memastikan efisiensi termal. Mesin bubut yang digunakan memiliki akurasi tinggi, sering kali dikendalikan secara otomatis (CNC). Operator memeriksa hasil pembubutan menggunakan alat ukur seperti kaliper atau mikrometer untuk memastikan akurasi.

Setelah semua komponen dibentuk, tahap pengelasan (Gambar 2.5) dilakukan untuk menyatukan bagian-bagian *heater*, termasuk pipa steam dan penutup. Gambar menunjukkan proses pengelasan yang melibatkan percikan api dan operator menggunakan alat pelindung. Membuat sambungan yang kuat dan tahan terhadap tekanan serta suhu tinggi. Pengelasan harus memastikan tidak ada celah atau kebocoran yang dapat memengaruhi performa *heater*. Teknik pengelasan yang digunakan biasanya TIG (Tungsten Inert Gas) untuk hasil yang lebih bersih dan presisi. Setelah pengelasan, sambungan diuji untuk memastikan kekuatan dan ketahanannya terhadap tekanan.

Gambar terakhir (Gambar 2.6) menunjukkan *heater* yang telah selesai diproduksi. Komponen ini telah melalui semua tahap manufaktur, termasuk desain, pemotongan, pembubutan, dan pengelasan. Produk akhir siap diuji dan dipasang pada mesin Stirling tipe Gamma skala kecil. *Heater* ini diharapkan dapat mendukung operasi mesin dengan efisiensi termal yang tinggi. *Heater* biasanya diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk memastikan tidak ada kebocoran dan dapat beroperasi pada suhu tinggi. Permukaan akhir *heater* sering kali diolah untuk mencegah korosi atau meningkatkan estetika.

**Tabel 2.** Hasil pengujian *heater*

Interval Waktu	Tsource	
Menit	(°C)	(K)
0	28,3	301,45
5	451,3	724,45
10	579	852,15
15	570,4	843,55
20	652,2	925,35
25	594,5	867,65
30	527,4	800,55
35	455,5	728,65
40	402	675,15
45	524,9	798,05
50	490,5	763,65
55	402,8	675,95
60	619,8	892,95
Rata-rata	484,5076923	757,66

Proses manufaktur *heater* ini melibatkan beberapa tahapan kritis yang membutuhkan keahlian teknis tinggi dan alat presisi. Setiap langkah, mulai dari desain hingga hasil akhir, dirancang untuk memastikan bahwa *heater* memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk mendukung operasi mesin Stirling tipe Gamma. Artikel ini dapat menjelaskan lebih dalam tentang pentingnya setiap tahapan dan bagaimana *heater* ini berkontribusi pada efisiensi energi mesin Stirling.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan proses manufaktur yang telah dilakukan, *heater* yang diproduksi menggunakan bahan baja karbon terbukti mampu mencapai suhu rata-rata sebesar 484,5°C. Pencapaian ini menunjukkan bahwa *heater* tidak hanya berfungsi sesuai dengan spesifikasi desain, tetapi juga mampu mempertahankan suhu yang stabil selama pengujian berlangsung. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap tahap proses, mulai dari desain, pemilihan material, hingga teknik manufaktur yang diterapkan, telah berhasil menghasilkan *heater* yang efektif dan sesuai dengan kebutuhan operasional mesin Stirling tipe Gamma skala kecil.

Material baja karbon yang digunakan, dengan sifat termal dan mekanisnya yang unggul, serta proses manufaktur yang presisi, telah menghasilkan *heater* dengan kehandalan yang baik. Tetapi perlu dilakukan pengujian ketahanan dan stabilitas lebih lanjut untuk menentukan mampu beroperasi dalam jangka waktu yang lama tanpa mengalami penurunan kinerja yang signifikan, agar menjadikan solusi yang andal untuk aplikasi mesin Stirling. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi *heater* untuk mesin Stirling, sekaligus membuka peluang untuk peningkatan efisiensi energi di masa depan.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing dan Tim Peneliti mCHPSE di Universitas Medan Area yang telah membantu dalam proses merakit dan menguji mesin Stirling untuk penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh kawankawan yang telah bekerja keras untuk menyelesaikan proyek ini, khususnya Indra Prasetyo, Aldi Kurniawan dan Bapak Edi dari Perbengkelan Bubut Tigayasa.

#### Daftar Pustaka

- BPS. 2023. *Statistik Penduduk Indonesia*. Badan Pusat Statistik.
- Hidayat, Muhammad Arif, Fatur Fadhillah Al Ridho, Jufrizal Jufrizal, Supriatno Supriatno, dan Nurdiana Nurdiana. 2023. "Manufaktur dan Pengujian Burner LPG untuk Pemanasan *Heater* Mesin Stirling MCHPSE-012021." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 2 (3): 74–82.
- Jufrizal, Farel H. Napitulu, Ilmi, dan Himsar Ambarita. 2020. "Manufacturing and Testing Prototype of a Gamma Type Stirling Engine for Micro-CHP Application." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Institute of Physics Publishing)* 725: 1. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012016>.
- Kagawa, T., et al. 2019. "Heat Transfer Optimization in Stirling Engine Heat Exchangers Using High-Performance Alloys." *Renewable Energy Journal* 12 (3): 112–121.
- Lubis, Rahmadsyah. 2024. "Studi Kompor Masak SNI sebagai Dasar Perencanaan Burner Mesin Stirling MCHPSE-012021." Medan: Universitas Medan Area.
- Lubis, Rahmadsyah, Jufrizal Jufrizal, Supriatno Supriatno, dan Nurdiana Nurdiana. 2024. "Analisis Efisiensi Thermal dan Konsumsi Bahan Bakar pada Burner Kompor SNI sebagai Dasar Acuan Perencanaan Burner Mesin Stirling." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3

(2): 1–7.

- Mawardi, Jufrizal, dan M. Hidayah. 2022. "Uji Kerja Burner LPG Mesin Stirling dengan Variasi Konsumsi Bahan Bakar." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1.
- Nazila, Intan Putri. 2016. *Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gama dengan Sumber Panas Reflektor Parabolik dan Sistem Aliran Air pada Reservoir Rendah*. Malang.
- Nugraha, Niko Taufik Adi. 2023. "Pengujian Kemampuan dari Komponen Bagian Displacer Mesin Stirling MCHPSE-012021." Medan: Universitas Medan Area.
- Rokan, Iskandar Zulkarnain. 2023. "Pengujian Efektivitas *Heater* Mesin Stirling MCHPSE-012021." Medan: Universitas Medan Area. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/23573>.
- Widyatmoko, R., et al. 2021. "Desain dan Efisiensi *Heater* pada Mesin Stirling Berbasis Energi Terbarukan." *Jurnal Energi dan Teknologi* 9 (4): 56–63.